

**SKRIPSI**

**STUDI PEMANFAATAN BOTTOM ASH DARI INSINERATOR  
LIMBAH B3 (Studi Kasus: PT. Kawasan Industri Makassar)**

**Disusun dan diajukan oleh :**

**MUHAMMAD NAUFAL DJABIR  
D131171016**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****STUDI PEMANFAATAN *BOTTOM ASH* DARI INSINERATOR  
LIMBAH B3**

Disusun dan diajukan oleh

**Muhammad Naufal Djabir**  
**D131171016**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 31 Juli 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr.Eng. Ir. Irwan Ridwa Rahim, S.T., M.T.  
NIP 197211192000121001

Pembimbing Pendamping,



Dr.Eng. Ir. Kartika Sari, S.T., M.T.  
NIP 197312012000121001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.  
NIP 197204242000122001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;  
Nama : Muhammad Naufal  
NIM : D131 17 1016  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Studi Pemanfaatan Bottom Ash Dari Insinerator Limbah B3 (Studi Kasus: PT. Kawasan Industri Makassar)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, 15 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Naufal Djabir

## ABSTRAK

**Muhammad Naufal Djabir.** *Studi Pemanfaatan Bottom Ash dari Insinerator Limbah B3 (Studi Kasus: PT. Kawasan Industri Makassar)*(dibimbing oleh Irwan Ridwan Rahim dan Kartika Sari)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan residu abu insinerator limbah medis sebagai bahan pengganti agregat halus dalam pembuatan paving block, dengan studi kasus di PT. Kawasan Industri Makassar. Latar belakang penelitian ini adalah meningkatnya volume limbah medis yang memerlukan pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan.

Metode penelitian meliputi pengumpulan residu abu insinerator, pengujian karakteristik material, dan pembuatan paving block dengan variasi faktor air semen (FAS) 30% dan 35%. Pengujian dilakukan untuk mengukur kekuatan tekan dan tarik belah paving block, serta analisis gradasi material sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan FAS berpengaruh negatif terhadap kekuatan paving block. Pada FAS 35%, kekuatan tekan dan tarik belah paving block lebih rendah dibandingkan dengan FAS 30%, yaitu 27.05 MPa yang memenuhi standar mutu B untuk paving block jalan. Ini menegaskan pentingnya optimasi faktor air semen dalam menentukan kualitas akhir paving block.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah residu abu insinerator dapat digunakan sebagai bahan alternatif dalam pembuatan paving block dengan performa yang memadai, asalkan faktor air semen dioptimalkan. Penggunaan residu abu ini juga memberikan solusi pengelolaan limbah medis yang lebih berkelanjutan dan ekonomis.

Kata kunci: Bottom Ash, Insinerator, Limbah Medis, Paving Block

## ABSTRACT

**Muhammad Naufal Djabir.** *Study on the Utilization of Bottom Ash from Hazardous Waste Incinerators (Case Study: PT. Kawasan Industri Makassar) (Supervised by Irwan Ridwan Rahim and Kartika Sari)*

This study aims to evaluate the use of medical waste incinerator ash as a substitute for fine aggregate in the production of paving blocks, with a case study at PT. Kawasan Industri Makassar. The background of this research is the increasing volume of medical waste that requires effective and sustainable management.

The research methods included the collection of incinerator ash residue, testing the material characteristics, and producing paving blocks with varying water-cement ratios (WCR) of 30% and 35%. Tests were conducted to measure the compressive and tensile strength of the paving blocks, as well as material gradation analysis according to SNI 03-1968-1990 standards.

The results showed that increasing the WCR negatively affects the strength of the paving blocks. At a WCR of 35%, the compressive and tensile strengths of the paving blocks were lower compared to a WCR of 30%, with 27.05 MPa meeting the quality standard B for road paving blocks. This emphasizes the importance of optimizing the water-cement ratio in determining the final quality of the paving blocks.

The conclusion of this study is that incinerator ash residue can be used as an alternative material in the production of paving blocks with adequate performance, provided the water-cement ratio is optimized. The use of this ash also offers a more sustainable and economical solution for medical waste management.

**Keywords:** Bottom Ash, Incinerator, Medical Waste, Paving Block

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Limbah B3 .....	7
2.2 Insinerator.....	9
2.3 Solidifikasi/Stabilisasi .....	9
2.4. <i>Paving Block</i> .....	11
2.4.1 Semen Portland .....	12
2.4.2 Agregat halus .....	13
2.4.3 Faktor Air Semen .....	13
2.5 Residu Abu .....	13
2.5.1 Baku Mutu Residu Abu.....	14
2.7 Uji Kuat Tekan dan tarik.....	15
2.8 Proses Perawatan ( <i>Curing</i> ) .....	16

2.9 Penelitian Terdahulu .....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Pendekatan Penelitian.....	21
3.2 Kerangka Penelitian.....	21
3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	22
3.4 Metode Pengumpulan Data .....	23
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data .....	23
3.4.2 Pengambilan Data Primer dan Sekunder.....	23
3.5 Pengolahan dan Analisa Data .....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Umum.....	25
4.2 Analisis Material .....	25
4.2.1 Agregat Halus.....	25
4.3 Perhitungan <i>Mix Design</i> .....	31
4.4 Hasil Pengujian Benda Uji .....	33
4.5 Hubungan proporsi campuran <i>paving block</i> terhadap kuat tekan dan kuat tarik..	34
4.6 Hubungan faktor air semen terhadap kualitas <i>paving block</i> berbahan dasar residu abu insinerator .....	38
4.7 Pembahasan .....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>43</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Sifat-sifat fisika paving block.....	12
<b>Tabel 2</b> Nilai Konsentrasi Zat Pencemar Melalui Uji TCLP.....	14
<b>Tabel 3</b> Penelitian Terdahulu.....	18
<b>Tabel 4</b> Hasil Analisis Saringan Residu Abu.....	26
<b>Tabel 5</b> Hasil Analisis Saringan Pasir .....	26
<b>Tabel 6</b> Hasil Analisis Berat Jenis Abu .....	27
<b>Tabel 7</b> Hasil Analisis Berat Jenis Pasir .....	27
<b>Tabel 8</b> Hasil Analisis Pengujian Berat Volume Abu .....	28
<b>Tabel 9</b> Hasil Analisis Pengujian Berat Volume Pasir.....	28
<b>Tabel 10</b> Hasil Analisis Kadar Air Residu Abu .....	29
<b>Tabel 11</b> Hasil Analisis Kadar Air Pasir .....	29
<b>Tabel 12</b> Hasil Analisis Kadar Lumpur Residu Abu .....	30
<b>Tabel 13</b> Hasil Analisis Kadar Lumpur Pasir .....	30
<b>Tabel 16</b> Kebutuhan Bahan Joint Mix Design per Benda Uji.....	32
<b>Tabel 17</b> Rekapitulasi Hasil Pengujian Benda Uji .....	33
<b>Tabel 18</b> Hasil Uji T kuat tekan berdasarkan variasi faktor air semen.....	40



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> Grafik Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	34
<b>Gambar 2</b> Hasil pengujian kuat tekan berdasarkan proporsi campuran dengan FAS 30% .....	35
<b>Gambar 3</b> Hasil pengujian kuat tekan berdasarkan proporsi campuran dengan FAS 35% .....	35
<b>Gambar 4</b> Hasil pengujian kuat tarik belah berdasarkan proporsi campuran dengan FAS 30%.....	37
<b>Gambar 5</b> Hasil pengujian kuat tarik belah berdasarkan proporsi campuran dengan FAS 35%.....	37
<b>Gambar 6</b> Pengaruh variasi faktor air semen terhadap kuat tekan benda uji.....	39

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur yang penulis panjatkan pada kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena Rahmat dan kelimpahan berkah yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Pemanfaatan Bottom Ash dari Insinerator Limbah B3.”

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang Strata-1 Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis Menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga pada penyusunan skripsi ini, akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Drs. Imbang Muryanto M.Si. dan Ir. Lifa Darim selaku orang tua penulis yang senantiasa mendukung dan mendoakan serta memberi nasihat sehingga penulis mampu berada di titik ini. Selain itu, atas terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih juga kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Jamaludding Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
2. Prof. Dr. Eng. Ir Muhammad Isran Ismail, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Dr. Eng. Muralia Hustin, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
5. Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang selalu memotivasi, mendukung dan memperhatikan perkembangan penulis selama dalam penyusunan Tugas Akhir.

6. Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing dan memperhatikan perkembangan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.
7. Bapak Muh. Jabir Kadri SE. dan Ibu Nurfaidah Nur, selaku kedua orangtua Penulis yang telah mendo'akan, menyemangati, dan memberikan pengorbanan yang begitu besar.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Teknik Lingkungan dan Departemen Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah memberikan ilmu dan masukan terkait Tugas Akhir ini.
9. Seluruh Staff dan Karyawan Departemen Teknik Lingkungan dan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah membantu dalam proses administrasi.
10. Teman – teman Lab Riset Sanitasi dan Persampahan yang selalu membantu, memotivasi dan menghibur penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
11. Teman – teman titik nol yang selalu memberi semangat dan motivasi kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan dalam Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk segala kalangan untuk perkembangan ilmu bidang Teknik Lingkungan.

Gowa, 7 Juni 2024



Muhammad Naufal Djabir

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada era industri modern, pertumbuhan ekonomi dan kemajuan teknologi telah menghasilkan produktivitas yang meningkat secara signifikan. Namun, di sisi lain, pertumbuhan ini juga membawa dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu aspek yang menjadi perhatian utama adalah pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dihasilkan oleh industri. Secara umum yang disebut dengan limbah adalah bahan sisa yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan proses produksi. Salah satu jenis limbah ialah limbah bahan berbahaya dan beracun (Utami, 2019). Limbah B3 adalah limbah yang konsentrasinya dan sifatnya mengandung zat beracun dan berbahaya yang dapat merusak lingkungan, mengganggu kesehatan dan mengancam kelangsungan hidup manusia atau makhluk lain secara langsung maupun tidak langsung (Purnama, 2023).

Proses insinerasi, atau pembakaran limbah sering digunakan untuk mengurangi volume dan bahaya dari limbah B3. Namun, proses insinerasi ini menghasilkan residu berupa abu dasar (*bottom ash*) yang juga harus dikelola dengan cara yang tepat untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

*Bottom ash* merupakan sisa residu padat yang tertinggal di dasar tungku insinerator setelah proses pembakaran berlangsung (Lam dkk, 2010). Komposisi *bottom ash* sangat bervariasi tergantung pada jenis limbah B3 yang dibakar, namun umumnya mengandung logam berat seperti timbal (Pb), kromium (Cr), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) yang bersifat toksik bagi makhluk hidup (Pandey dkk, 2011). Oleh karena itu, pengelolaan *bottom ash* yang tidak tepat dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan dan risiko kesehatan yang serius.

Insinerator merupakan alat pengolahan limbah yang dapat memusnahkan komponen berbahaya secara termal. Volume limbah yang dapat direduksi 5 – 15% berupa abu. Hal tersebut dapat diperoleh apabila suhu pembakaran 1200°C, sehingga insinerasi dianggap sebagai salah satu cara mengolah limbah yang ideal (Reindhart & Gordon, 1995). Insinerator yang dioperasikan dengan benar dapat mengurangi massa limbah sekitar 90% sehingga massa residu akhir relatif kecil. Jika pemeliharaan dan operasional

dari proses insinerasi dilakukan dengan benar maka abunya tidak berbahaya bagi lingkungan dan mungkin bisa untuk ditimbun (Ferraz dkk., 2000).

Pengolahan limbah padat B3 kawasan industri tidak diperbolehkan dibuang langsung ke tempat pembuangan akhir limbah domestik dan harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu (Girsang & Herumurti, 2013). Salah satu metode pengolahan limbah yang efektif adalah solidifikasi dan stabilisasi (S/S). Solidifikasi adalah proses pemadatan suatu bahan berbahaya dan beracun dengan penambahan aditif, sedangkan stabilisasi adalah proses pencampuran bahan berbahaya dengan bahan tambahan (aditif) dengan tujuan untuk menurunkan laju migrasi dan toksisitas bahan berbahaya tersebut.

Pellera dkk, (2012) menggunakan limbah medis abu insinerator yang dikombinasikan dengan *Ordinary Portland Cement* (OPC) sebagai binder untuk mengurangi leaching pada material abu insinerator dan meningkatkan *mechanical characteristics*. Hal ini menjadikan abu insinerator berpotensi menjadi produk beton sebagai bahan bangunan dan mengurangi limbah abu insinerator dengan cara dilakukan solidifikasi. *Paving block* adalah salah satu produk yang dihasilkan dari proses solidifikasi dan stabilisasi limbah B3. Menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* atau bata beton adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

Berdasarkan data Dinas Pengelolaan Lingkungan Hidup Sulawesi Selatan, tercatat limbah medis Sulawesi Selatan mencapai 20 ton setiap hari. Pemerintah provinsi kemudian membangun alat pengolah limbah B3 dengan insinerator yang dikelola oleh PT. Kawasan Industri Makassar (KIMA) sejak tahun 2017 (Muntazarah dkk., 2020). PT. KIMA berada di bagian timur laut dengan jarak 13 meter dari pusat Kota Makassar. Insinerator PT. KIMA memiliki kapasitas 4,8 ton per hari untuk mengelola limbah medis dihasilkan di Pulau Sulawesi. Meskipun abu insinerasi dihasilkan dalam jumlah besar, pengolahan akhirnya masih menimbulkan kendala karena residu abu tidak dapat langsung dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dikarenakan klasifikasinya sebagai limbah B3. Oleh karena itu, residu abu ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam pembuatan bahan bangunan termasuk *paving block* (Nabila dkk, 2024).

Beberapa penelitian sudah dilaksanakan untuk memanfaatkan abu insinerator. Pada penelitian oleh Irvani dkk, (2015) pemanfaatan limbah abu insinerator sebagai bahan tambahan pengganti semen dari hasil insinerasi limbah medis Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Soetomo Surabaya. Dalam pemanfaatan limbah abu insinerator sebagai bahan tambahan pengganti semen dijelaskan beberapa faktor yang paling penting sebagai bahan baku beton yakni campuran material, faktor air semen, penambahan binder, dan superplastisizer (Irvani dkk, 2015). Metode solidifikasi/stabilisasi ini sudah diuji dengan hasil uji TCLP dan memenuhi baku mutu TCLP berdasarkan Permen LHK nomor 6 tahun 2021 (Girsang & Herumurti, 2013).

Pemanfaatan bottom ash dari insinerator limbah medis menjadi penting untuk diteliti karena potensi nilai tambah yang bisa dihasilkan. Bottom ash dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri konstruksi, seperti pembuatan beton, bahan pengisi jalan, atau material bangunan lainnya. Pemanfaatan ini tidak hanya membantu mengurangi volume limbah yang harus dibuang, tetapi juga memberikan alternatif material yang lebih ekonomis dan berkelanjutan. Selain itu, dengan pemanfaatan yang tepat, dampak lingkungan dari limbah B3 dapat diminimalisir.

Penelitian ini penting dilakukan dan diangkat sebagai studi karena semakin meningkatnya jumlah limbah B3 yang dihasilkan oleh industri, khususnya dari fasilitas kesehatan, serta kebutuhan untuk menemukan solusi pengelolaan limbah yang lebih aman dan berkelanjutan. Melalui pemanfaatan bottom ash dalam produk konstruksi seperti paving block, diharapkan dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan memberikan alternatif material yang ekonomis serta ramah lingkungan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan deskripsi terkait permasalahan pengelolaan sampah, maka dapat dijabarkan rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penggunaan residu abu insinerator sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan *paving block* memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan untuk agregat halus?
2. Bagaimana kualitas paving block yang dihasilkan dari *bottom ash* yang telah mengalami perlakuan solidifikasi dan stabilisasi, dilihat dari aspek kekuatan, daya tahan, dan kepadatan?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui penggunaan residu abu insinerator sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan *paving block* memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan untuk agregat halus
2. Mengukur kualitas paving block yang dihasilkan dari bottom ash yang telah mengalami perlakuan solidifikasi dan stabilisasi berdasarkan aspek kekuatan, daya tahan, dan kepadatan.

### 1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai karakteristik dan potensi pemanfaatan bottom ash dari limbah medis melalui proses solidifikasi dan stabilisasi.
2. Membantu industri dalam menemukan solusi alternatif untuk pemanfaatan limbah medis yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.
3. Menyediakan dasar ilmiah untuk pengembangan kebijakan dan praktik terbaik dalam pemanfaatan residu insinerasi limbah medis.

### 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

1. Pegambilan data diambil di PT. KIMA dengan fokus pada bottom ash yang dihasilkan dari insinerator limbah medis.
2. Perlakuan Solidifikasi dan Stabilisasi, uji kuat tekan dan tarik belah di lakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
3. Penelitian mencakup analisis dan penerapan metode Solidifikasi dan stabilisasi pada bottom ash untuk meningkatkan stabilitas dan kualitasnya.
4. Analisis meliputi komposisi kimia, sifat fisik, dan perubahan karakteristik setelah perlakuan Solidifikasi dan stabilisasi.
5. Evaluasi kualitas paving block yang dihasilkan mencakup pengujian kekuatan tekan, daya tahan, dan kepadatan sesuai standar industri.
6. Pengujian pada penelitian ini hanya menggunakan *single sample*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri lima bab yang diuraikan sebagai berikut:

### 1. BAB I: Pendahuluan

Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah yang menjelaskan pentingnya pengelolaan limbah medis, proses insinerasi di PT. Kawasan Industri Makassar (KIMA), dan perlunya penelitian tentang pemanfaatan bottom ash melalui solidifikasi dan stabilisasi. Bab ini juga memuat rumusan masalah berupa pertanyaan-pertanyaan penelitian yang akan dijawab, tujuan penelitian yang mencakup tujuan utama dan tujuan spesifik, serta manfaat penelitian dari sisi akademis, praktis, dan lingkungan. Selain itu, terdapat batasan masalah yang memperjelas lingkup penelitian dan sistematika penulisan yang memberikan gambaran singkat tentang isi setiap bab dalam tugas akhir ini.

### 2. BAB II: Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka mencakup definisi dan karakteristik limbah medis, penjelasan tentang proses insinerasi dan teknologi yang digunakan, serta komposisi dan karakteristik bottom ash dari insinerator limbah medis. Bab ini juga menguraikan teknik solidifikasi dan stabilisasi (S/S) yang digunakan, pemanfaatan bottom ash dalam industri konstruksi dengan contoh dan aplikasi, serta tinjauan literatur tentang penelitian yang relevan.

### 3. BAB III: Metode Penelitian

Metode penelitian menjelaskan desain penelitian yang digunakan, lokasi dan waktu penelitian, populasi dan metode pengambilan sampel, serta teknik pengumpulan data. Bab ini juga menguraikan prosedur penelitian yang meliputi tahapan dan langkah-langkah penelitian, serta teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisis data yang diperoleh.

### 4. BAB IV: Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan menyajikan deskripsi hasil penelitian dalam bentuk tabel, grafik, maupun deskripsi naratif. Evaluasi proses solidifikasi dan stabilisasi yang diterapkan pada bottom ash, serta pengujian dan hasil kualitas paving block, termasuk kekuatan, daya tahan, dan kepadatan juga dibahas di sini. Bab ini diakhiri



dengan pembahasan hasil penelitian dan interpretasi data, mengaitkannya dengan tinjauan pustaka dan tujuan penelitian.

#### **5. BAB V: Penutup**

Penutup terdiri dari kesimpulan hasil penelitian dan saran terhadap penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Limbah B3**

Menurut Permen LHK nomor 6 tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dijelaskan bahwa limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik langsung maupun tidak langsung, dapat mencemari dan atau merusak lingkungan hidup dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Maksudnya adalah setiap bahan yang karena konsentrasi dan atau sifat dan atau jumlahnya mengandung B3 dan berbahaya bagi manusia, makhluk hidup, dan lingkungan, terlepas dari jenis bahan sisa.

Limbah B3 dihasilkan dari berbagai sumber termasuk fasilitas pelayanan kesehatan seperti rumah sakit, puskesmas, klinik kesehatan, dan sejenisnya. Limbah B3 tersebut kemudian diangkut ke suatu tempat, yaitu suatu tempat dimana limbah tersebut dikelola dengan aman agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitar. Oleh karena itu, perlu disediakan fasilitas dan perawatan yang tepat agar keamanan dapat tercapai dengan baik. Berdasarkan Permen LHK Nomor 6 Tahun 2021, pengelolaan limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan. Pengolahan limbah B3 adalah proses untuk mengurangi dan/atau menghilangkan sifat berbahaya dan/atau beracun.

Sebagian besar limbah B3 berasal dari industri atau pabrik, tetapi tidak sedikit juga yang berasal dari permukiman warga. Limbah B3, jika ditinjau dari sisi kimiawi, terdiri dari senyawa organik dan anorganik (Wahyono, 2018).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014, limbah B3 dikategorikan berdasarkan bahayanya menjadi: (a) Limbah B3 kategori 1; dan (b) Limbah B3 kategori 2. Berdasarkan sumbernya, limbah B3 terbagi menjadi: (a) Limbah B3 dari sumber tidak spesifik; (b) Limbah B3 dari B3 kedaluwarsa, B3 yang tumpah, B3 yang tidak memenuhi spesifikasi produk yang akan dibuang, dan bekas kemasan B3; dan

(c) Limbah B3 dari sumber spesifik, yang meliputi limbah B3 dari sumber spesifik umum dan limbah B3 dari sumber spesifik khusus (Wahyono, 2018).

Karakteristik limbah B3 menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 adalah: (a) Mudah meledak; (b) Reaktif; (c) Infeksius; (d) Korosif; (e) Beracun; dan (f) Mudah menyala. Contoh bahan yang mudah terbakar antara lain: (1) Zat terbakar langsung seperti aluminium alkil fosfor (keamanan: hindari kontak dengan udara); (2) Gas sangat mudah terbakar seperti butane dan propane (keamanan: hindari kontak dengan udara dan sumber api); (3) Cairan mudah terbakar seperti aseton dan benzene (keamanan: jauhkan dari sumber api atau loncatan bunga api); dan (4) Zat sensitif terhadap air, yang membentuk gas mudah terbakar bila terkena air atau api (Wahyono, 2018).

Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri digolongkan menjadi: (a) Limbah Cair; (b) Limbah Padat; dan (c) Limbah Gas. Sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.56/Menlhk-Setjen/2015, limbah B3 dari fasilitas pelayanan kesehatan meliputi limbah: (a) dengan karakteristik infeksius; (b) benda tajam; (c) patologis; (d) bahan kimia kedaluwarsa, tumpahan, atau sisa kemasan; (e) radioaktif; (f) farmasi; (g) sitotoksik; (h) peralatan medis yang memiliki kandungan logam berat tinggi; dan (i) tabung gas atau kontainer bertekanan (Wahyono, 2018).

Pengelolaan limbah B3 dari fasilitas pelayanan kesehatan mencakup: (a) Pengurangan dan pemilahan limbah B3; (b) Penyimpanan limbah B3; (c) Pengangkutan limbah B3; (d) Pengolahan limbah B3; (e) Penguburan limbah B3; dan/atau (f) Penimbunan limbah B3. Pengolahan limbah B3 adalah proses untuk mengubah jenis, jumlah, dan karakteristik limbah B3 menjadi tidak berbahaya dan/atau tidak beracun, serta/atau mengimmobilisasi limbah B3 sebelum ditimbun dan/atau memungkinkan agar limbah B3 dimanfaatkan kembali (Wahyono, 2018).

Proses pengolahan limbah B3 dapat dilakukan melalui pengolahan fisika dan kimia, stabilisasi/solidifikasi, dan insinerasi. Pengolahan fisika dan kimia bertujuan untuk mengurangi daya racun limbah B3 dan/atau menghilangkan sifat berbahaya limbah B3. Proses stabilisasi/solidifikasi bertujuan untuk mengubah sifat fisik dan kimiawi limbah B3 dengan menambahkan senyawa pengikat sehingga pergerakan senyawa B3 terhambat atau terbatas, membentuk massa monolit yang kokoh. Proses insinerasi

bertujuan untuk menghancurkan senyawa B3 sehingga menjadi senyawa yang tidak berbahaya (Wahyono, 2018).

## **2.2 Insinerator**

Insinerator adalah tungku pembakaran yang mengolah limbah limbah menjadi gas dan sisa abu (*bottom ash* dan *fly ash*). Insinerasi adalah proses pengolahan limbah padat dengan cara membakar pada suhu lebih dari 800°C untuk mengurangi limbah, membunuh bakteri, virus, dan bahan kimia beracun. Sedangkan pada limbah B3 untuk mengurangi sifat berbahaya seperti racun dan radiasi. Insinerator dapat digunakan untuk berbagai macam limbah organik, termasuk minyak, pelarut, obat-obatan, dan pestisida (Latief, 2010).

Teknologi insinerasi merupakan metode pengolahan yang baik untuk bahan yang mudah terbakar dan memiliki nilai kalor yang memadai. Limbah B3 yang bersifat patogen seperti limbah rumah sakit, khususnya limbah medis yang tergolong limbah infeksius, dapat ditangani dengan sangat baik dengan teknologi insinerasi. Mikroorganisme patogen pada limbah infeksius dapat dimusnahkan dalam insinerator dengan suhu panas yang tinggi. Pada limbah medis infeksius, proses insinerasi utamanya adalah untuk pemusnahan organisme infeksius yang terkandung dalam limbah, sedangkan operasi tambahannya adalah meminimalkan pengendalian pengendalian emisi. Insinerator yang dirancang dengan baik mampu menghancurkan kandungan organik berbahaya dari limbah B3. Sebaliknya, desain dan pengoperasian insinerator yang tidak membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan, melalui emisi gas dan polutan lainnya ke atmosfer (Nurhayati dan Triastuti, 2011). Kemudian sisa abu atau limbah B3 yang tidak terbakar yang terbentuk kemudian dipisahkan dari insinerator, dikumpulkan, dan dikemas secara khusus kemudian disimpan di Tempat Penimbunan Sementara (TPS) paling lama 90 hari kerja. Apabila sisa abu tersebut tidak dapat diolah dan dimanfaatkan lebih lanjut, maka harus diserahkan kepada pihak pengelola yang memiliki izin yaitu pengangkut, pengumpul, pengolah, pengguna, atau tempat pembuangan akhir (*secured landfill*) (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014).

## **2.3 Solidifikasi/Stabilisasi**

Solidifikasi/Stabilisasi (S/S) adalah merupakan 2 gabungan teknik yang berbeda. Solidifikasi adalah proses pemadatan suatu bahan berbahaya dan beracun

dengan penambahan aditif. Stabilisasi adalah proses pencampuran bahan berbahaya dengan bahan tambahan (aditif) dengan tujuan untuk menurunkan laju migrasi dan toksisitas bahan berbahaya tersebut.

Salah satu alternatif pengolahan limbah dengan tujuan mengurangi pencemaran lingkungan adalah teknik solidifikasi. Teknologi solidifikasi/stabilisasi limbah didasarkan pada interaksi limbah membentuk padatan limbah, baik secara fisik maupun kimiawi. Semen, kapur, dan silika terlarut merupakan bahan yang sering digunakan pada solidifikasi/stabilisasi limbah. Semen portland digunakan sebagai matrik solidifikasi karena semen banyak digunakan dalam dunia perdagangan maupun penelitian (Utomo & Laksono, 2007).

Menurut Trihadiningrum (2000), terdapat beberapa jenis proses Solidifikasi/Stabilisasi yang banyak digunakan, yaitu:

1. S/S dengan semen, proses ini digunakan untuk mengikat berbagai logam berat yang terdapat dalam limbah B3 yang umumnya menggunakan semen portland. Proses ini mudah dilakukan, sifat basa dari semen dapat menetralkan limbah asam dan membentuk garam karbonat dan hidroksida dari logam berat, dan tidak memerlukan proses pengeringan yang ekstensif.
2. Vitrifikasi, proses pencairan dan peleburan untuk bahan yang mengandung silikat pada suhu lebih dari 1600°C, yang selanjutnya diikuti dengan pendinginan yang cepat. Produk dari proses ini berupa kristal silikat yang bersifat *amorf* dalam bentuk gelas. Penggunaan proses ini terbatas pada remediasi lahan yang terkontaminasi.
3. Absorpsi, proses ini dapat mengikat logam berat yang terdapat pada limbah B3. Bahan-bahan adsorben yang sering digunakan adalah lempung, sekam dan jerami, serbuk gergaji, tanah, abu terbang, dan abu dari insinerator. Bahan adsorben yang memiliki sifat pozzolanik dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama.
4. Kapsulasi termoplastik, proses ini dilakukan dengan cara memanaskan campuran bahan termoplastik dengan limbah yang telah dikeringkan pada suhu 1000°C, yang diikuti dengan pendinginan. Bahan termoplastik merupakan bahan plastik yang dapat meleleh jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan. Contoh dari bahan termoplastik adalah aspal, bitumen, *polyethylene*, *polypropylene*, dan *nylon*.

5. Kapsulasi makro, merupakan proses dimana setiap limbah B3 dibungkus dalam kapsul pembungkus yang bersifat *inert* dan kedap air. Bahan pembungkus dapat berupa *fiberglass*, resin epoksida, dan resin polyurethane. Campuran tersebut akan disemprotkan ke dinding *container* limbah, yang nantinya akan membentuk jaket yang berfungsi melindungi limbah tersebut dari pelindian dan tekanan-tekanan mekanik.

Proses solidifikasi/stabilisasi (S/S) didesain untuk mengakomodasikan salah satu atau lebih dari tujuan berikut (Utomo & Laksono, 2007):

- a. Menurunkan kelarutan kontaminan.
- b. Meningkatkan efisiensi penanganan limbah dengan cara menciptakan suatu padatan yang bebas air.
- c. Menurunkan luas muka limbah dengan cara mentransfer kontaminan yang terdapat dalam padatan limbah.

Penanganan proses S/S dikatakan berhasil bila dihasilkan produk limbah yang kuat dan tahan lama setelah melalui uji kuat tekan. Selain itu, produk S/S tidak meluluhkan logam dalam jangka waktu pendek maupun panjang (Gailius dkk, 2010). Tingkat peluluhan kontaminan dari bahan campuran dapat diketahui melalui uji TCLP.

#### **2.4. *Paving Block***

*Paving block* adalah salah satu *output* dari proses solidifikasi/stabilisasi. Menurut SNI 03-0691-1996 *paving block* atau bata beton adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

Lapis perkerasan *paving block* adalah jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*), dimana lapis permukaannya menggunakan unit-unit blok beton atau segmental beton yang disusun sedemikian rupa sehingga unit-unit blok beton tersebut saling kunci mengunci (*interlocking*) antara unit blok yang satu dengan unit blok lainnya.

Syarat mutu *paving block* yaitu harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, dan tidak mudah dirapuhkan dengan kekuatan tangan.

*Paving block* harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan

toleransi +8%, tahan terhadap natrium sulfat, tidak boleh karatan dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%. Sifat fisika yang harus dipenuhi yaitu :

**Tabel 1** Sifat-sifat fisika paving block

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks. (%)
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

(Sumber: SNI-03-0691-1996)

Klasifikasi mutu *paving block* antara lain adalah :

- Bata beton mutu A digunakan untuk jalan
- Bata beton mutu B digunakan untuk material parkir
- Bata beton mutu C digunakan untuk material untuk pejalan kaki
- Bata beton mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lain

#### 2.4.1 Semen Portland

Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004). Semen dapat diartikan sebagai bahan pengikat yang diperoleh dari pembakaran bersama pada temperatur tinggi ( $1400^{\circ}\text{C}$ ), dicampur setelah di *crushing* yang menghasilkan klinker bubuk halus. Sifat-sifat dari variasi semen tergantung dari komposisi kimia.

Jika ditambah air, semen portland akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus dan pasta semen akan menjadi mortar, yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (Mulyono, 2003).

### 2.4.2 Agregat halus

Agregat halus sering disebut dengan istilah pasir. Pasir berfungsi sebagai bahan pengisi yang berasal dari pasir alami. Pasir untuk bahan baku *paving block* memiliki persyaratan yang perlu dipenuhi antara lain (Pratama, 2017):

- a. Kadar lumpur yang ada pada pasir tidak lebih dari 5%
- b. Butir pasir yang dipakai dalam campuran beton harus merupakan butiran yang tajam dan kasar serta harus bersifat kekal, artinya tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh alam, seperti terik matahari atau hujan.
- c. Penimbunan pasir harus dipisah dari material lainnya, karena pasir yang digunakan harus dalam keadaan bersih.
- d. Tidak mengandung banyak bahan organik.
- e. Secara visual harus bersih dan tidak bercampur kotoran.

### 2.4.3 Faktor Air Semen

Faktor air semen (FAS) merupakan rasio antara jumlah air dan semen yang digunakan. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang terlalu rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun (Mulyono, 2003). Faktor air semen dapat mempengaruhi *workability* sebuah produk beton. Irvani dkk. (2015) memvariasi faktor air semen sebanyak 25%, 30% dan 35% dan menunjukkan bahwa  $FAS \leq 25\%$  tidak direkomendasikan. Pada penelitian ini, faktor air semen sebagai eksperimental digunakan sebesar 30%, dan 35%. Variasi tersebut sudah representatif dan mewakili beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan faktor air semen 30% dan 35% adalah persentase air yang biasanya digunakan dalam pembuatan *paving block*.

## 2.5 Residu Abu

Residu abu merupakan hasil *output* dari proses insinerasi. *Bottom ash* merupakan bagian dari residu *non-combustible* dalam pembakaran di insinerator. Sebagian residu yang jatuh dengan sendirinya menuju *bottom hopper* dari sebuah



insinerator disebut sebagai *Bottom ash*. Biasanya *Bottom ash* dihasilkan dalam kuantitas besar dari sebuah pengolahan termal. Untuk setiap ton massa limbah yang diinsinerasi, akan menghasilkan kurang lebih 160 kg *Bottom ash*. Dengan kata lain, limbah padat ini akan mencapai fraksi massa 20% dari limbah awal. *Bottom ash* menyumbang 80-90% dari total massa residu abu limbah pengolahan termal (Chiang & Pan, 2017). *Bottom ash* mewakili residu padat terbesar dari limbah pengolahan termal dengan jumlah sekitar 20–25% dari jumlah limbah yang masuk ke insinerator (Huber dkk., 2020).

*Bottom ash* umumnya mengandung sekitar 10% logam-logam dan 90% terbentuk dari produk lain pada bagian *combustible* dan *non-combustible* seperti kaca yang disebut sebagai fraksi mineral (Huber dkk, 2020). Komposisi unsur *Bottom ash* tergantung terutama pada komposisi limbah yang masuk, dimana akan bervariasi pada lokasi, musim, dan skema *recycle* dalam operasi (Chiang & Pan, 2017).

### 2.5.1 Baku Mutu Residu Abu

Menurut Permen LHK No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Beracun, limbah B3 yang dihasilkan dari pelaksanaan kegiatan pengolahan limbah B3 dengan cara termal melalui proses insinerasi berupa residu abu.

Metode uji karakteristik residu abu menggunakan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui pemenuhan ketentuan baku mutu karakteristik beracun sebelum dilakukan penimbunan limbah B3. Berikut merupakan nilai konsentrasi zat pencemar melalui uji TCLP berdasarkan Permen LHK No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Beracun :

**Tabel 2** Nilai Konsentrasi Zat Pencemar Melalui Uji TCLP

No.	ZAT PENCEMAR Satuan (berat kering)	TCLP-A (mg/L)	TCLP-B (mg/L)
PARAMETER ANORGANIK			

1	Antimoni, Sb	6	1
2	Arsen, As	3	0,5
3	Barium, Ba	210	35
4	Berilium, Be	4	0,5
5	Boron, B	150	25
6	Kadmium, Cd	0,9	0,15
7	Krom valensi enam, Cr <sup>6+</sup>	15	2,5
8	Tembaga, Cu	60	10
9	Timbal, Pb	3	0,5
10	Merkuri, Hg	0.3	0,05
11	Molibdenum, Mo	21	3,5
12	Nikel, Ni	21	3,5
13	Selenium, Se	3	0,5
No.	ZAT PENCEMAR Satuan (berat kering)	TCLP-A (mg/L)	TCLP-B (mg/L)
PARAMETER ANORGANIK			
14	Perak, Ag	40	5
15	<i>Tributyltin oxide</i> Seng,	0,4	0,05
16	Zn	300	50

(Sumber : Permen LHK No. 6 Tahun 2021)

## 2.7 Uji Kuat Tekan dan tarik

Uji kuat tekan diartikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-0691-1996).

Hasil uji kuat tekan pada benda uji dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah faktor air semen (FAS). Semakin tinggi FAS dalam proses S/S maka semakin rendah nilai kuat tekan. Hal ini terjadi karena setiap penambahan FAS terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Akibatnya, terjadi *bleeding* pada pembuatan benda uji sehingga terdapat rongga pada beton dan nilai kuat tekan menurun (Nugroho & Widodo, 2010).

Data uji kekuatan sering digunakan untuk memberikan perbandingan dasar antara limbah tidak stabil dan stabil (Malviya & Chaudhary, 2006). Bahan limbah yang tidak stabil umumnya tidak menunjukkan kekuatan geser yang baik. Dalam hal ini dibutuhkan bahan yang stabil untuk dipadatkan bersamaan dengan jenis limbah yang tidak stabil tersebut. Korelasi antara kekuatan stabilisasi/solidifikasi (S/S) dan tingkat

stabilisasi kontaminan belum diidentifikasi, tetapi umumnya diasumsikan bahwa kekuatan yang lebih tinggi memberikan hambatan fisik yang lebih baik, dan dengan demikian menyebabkan penurunan risiko pencemaran bahan berbahaya ke lingkungan (Gailius dkk, 2010).

Produk stabilisasi/solidifikasi (S/S) harus menjaga pasti kekuatan minimum tekan yang aman sebelum dilakukan pembuangan ke *landfill*. US-EPA (1989) menjelaskan bahwa produk stabilisasi/solidifikasi (S/S) dengan kekuatan 0.35 MPa memiliki kuat tekan bebas yang memuaskan. Hal ini menjadi pedoman minimum yang telah disarankan untuk produk S/S sebelum dibuang ke *landfill*. Semakin bertambahnya waktu *curing* (perawatan mortar), maka pengikat limbah matriks akan berkurang bila dibandingkan dengan pengikat matriks alami.

Rumus kuat tekan dan kuat tarik *paving block* berdasarkan SNI-03-06911996 adalah :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L}$$

dimana:

P = Beban tekan (N)

A = Luas bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

## 2.8 Proses Perawatan (*Curing*)

*Curing* merupakan suatu langkah atau tindakan memberi uji kesempatan pada semen untuk mengembangkan kekuatannya secara wajar dan sempurna. Kegiatan *curing* ini dapat memaksimalkan kekuatan yang dihasilkan oleh mortar (Factsha dkk, 2008). Menurut Syamsuddin dan Wicaksono (2011), tujuan dari perawatan (*curing*) *paving block* yaitu:

1. Mencegah kehilangan kelembaban.
2. Mempertahankan suhu yang baik dalam durasi waktu tertentu (diatas suhu beku dan dibawah 50°C).

Apabila tidak dilakukan tindakan *curing*, maka kekuatan mortar akan melemah dan secara fisik mortar akan terlihat retak-retak (Factsha dkk, 2008).

Menurut Syamsuddin dkk (2011), terdapat beberapa jenis perawatan beton antara lain:

1. *Steam Curing*

Metode ini dilakukan untuk memperoleh kekuatan awal.

2. *Penyemprotan/Fogging*

Metode ini baik untuk kondisi dengan suhu diatas suhu beku dan humiditas rendah.

3. Penggenangan/Perendaman

Metode ini ideal untuk mencegah hilangnya kelembaban dan mempertahankan suhu yang seragam.

4. Lembaran Plastik

Metode ini menggunakan lapisan *polythylene* dengan ketebalan 4 mm, yang memiliki kelebihan yaitu ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya kelembaban, dan mudah diterapkan.

5. Penutup Basah

Metode ini menggunakan bahan yang dapat mempertahankan kelembaban seperti burlap (karung goni) yang dibasahi dengan kelebihan yaitu mencegah terjadinya *discoloration* dan tahan terhadap api.

6. *Curing Compound*

Metode ini akan menghasilkan lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi adanya penguapan.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait dengan penelitian ini didasari dengan penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian terdahulu diperlukan untuk memudahkan pelaksanaan penelitian ini. Penelitian terdahulu yang menjadi dasar penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Penelitian Terdahulu

Penulis	Hasil Penelitian
Desiarista (2019)	Meneliti insinerator statis RSUD Dr Soetomo untuk mendapatkan kinerja paling optimal. Dari hasil penelitian dan pengolahan data diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi waktu dan suhu pembakaran maka proses pembakaran akan semakin baik karena terpenuhinya nilai kalor untuk proses pengabuan sehingga presentase dari kemampuan penyisihan residu abu meningkat sebanyak 7% pada waktu 80 menit hingga 100 menit pada suhu 800°C ke 1200°C.
Utami dkk. (2017)	Meneliti tentang peningkatan kinerja insinerator pada pemusnahan limbah medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. Variabel dalam penelitian ini adalah suhu pembakaran yaitu 800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C, dan 1200°C dan waktu pembakaran yaitu 80 menit, 90 menit, 100 menit, 110 menit dan 120 menit. Parameter dari penelitian ini adalah berat sampah medis setelah dibakar, kualitas berat sampah medis setelah dibakar, kualitas asap pembakaran sampah medis. Dari hasil penelitian dan pengolahan data diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran maka proses pembakaran akan semakin baik karena terpenuhinya nilai kalor untuk proses pengabuan dan semakin lama waktu pembakaran maka kemampuan penyisihan residu juga bertambah.
Artiyani (2010)	Dalam penelitiannya memanfaatkan abu pembakaran sampah sebagai bahan alternatif pembuatan <i>paving block</i> . Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan variasi abu pembakaran sampah 0%, 20%, 40%, 80%, dan 100% dari bagian pasir untuk menggantikan pasir sebagai agregat halus. Dilakukan untuk 2 jenis uji kelayakan, yaitu uji penyerapan air dan uji ketahanan aus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) abu pembakaran sampah memberi pengaruh baik pada sifat-sifat <i>paving block</i> , (2) <i>paving block</i> penambahan abu pembakaran sampah yang memenuhi syarat penyerapan air rata-rata 5% dengan kualitas optimum pada penambahan abu pembakaran sebesar 80% dan ketahanan aus rata-rata 55% dengan kualitas optimum pada penambahan abu pembakaran optimum sebesar 40%.

Efmi dkk. (2015)	<p>Penelitian ini mengembangkan kombinasi dan teknik pembuatan <i>paving block</i> dengan tambahan trass. Dari Metode Taguchi, matriks ortogonal terpilih L27 dengan 3 faktor terkendali masing-masing 3 level dan 1 faktor tidak terkendali dengan 2 level. Faktor terkendali terpilih adalah komposisi bahan, kehalusan butir dan lama perawatansedangkan faktor tidak terkendali adalah kadar lumpur didalam pasir. Hasil kuat tekan yang optimal dari level dan faktor terpilih adalah sebesar 34,780 MPa, pada Standar Nasional Indonesia meningkat masuk ke dalam Mutu B, dari hasil kuat tekan sebelumnya sebesar 15,624 MPa termasuk ke dalam Mutu C. Hasil tersebut menunjukkan kombinasi hasil dari Metode Taguchi dapat memberikan kuat tekan lebih baik dari sebelumnya.</p>
Rosariawari, (2018)	<p>Penelitian ini membuat <i>paving block</i> dari campuran limbah abu dan sisa pembakaran sampah domestik. Pada proses pembakaran limbah domestik pada bangunan Insinerator menghasilkan abu terbang dan abu dasar dalam jumlah banyak sehingga dapat terjadinya pencemaran kandungan limbah B-3 seperti Cu, Zn, Cr, Cd dan Pb. Hasil percobaan pembuatan <i>paving block</i> dari beberapa variasi komposisi perbandingan semen, pasir, abu, abu batu dan faktor air semen dari salah satu yang terbaik adalah komposisi K5 (FAS 0,3) yang memenuhi kuat tekan dan daya resapan air pada standar nasional Indonesia (SNI) mutu B. Kemudian ditinjau dari pengujian hasil rendaman air <i>paving block</i> pada komposisi K5 (FAS 0,3) menunjukkan hasil air rendaman masih memenuhi baku mutu Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air PP No. 82 Tahun 2001.</p>

Penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu dalam beberapa aspek penting. Pertama, dari segi fokus material, banyak penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Desiarista (2019), dan Utami dkk. (2017) lebih berfokus pada penggunaan abu insinerator untuk berbagai keperluan seperti evaluasi proses insinerasi, peningkatan

kinerja insinerator, dan pembuatan bahan bangunan lainnya. Sebaliknya, penelitian ini secara khusus meneliti pemanfaatan bottom ash dari insinerator limbah medis PT. Kawasan Industri Makassar sebagai bahan pengganti agregat halus dalam pembuatan paving block, dengan fokus pada pengujian karakteristik material dan pengaruh variasi faktor air semen (FAS). Kedua, metode solidifikasi dan stabilisasi yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya. Meskipun metode solidifikasi dan stabilisasi sudah digunakan sebelumnya, detail pelaksanaannya berbeda. Misalnya, penelitian oleh Desiarista (2019) menggunakan metode yang berbeda dalam pengujian dan pengolahan abu insinerator. Dalam penelitian ini, solidifikasi dan stabilisasi dilakukan dengan variasi komposisi dan kondisi untuk menemukan formulasi optimal, dan kemudian menggunakan bottom ash yang telah diolah untuk pembuatan paving block yang diuji sesuai standar SNI. Ketiga, hasil pengujian dalam penelitian ini lebih spesifik dibandingkan penelitian terdahulu. Hasil pengujian pada penelitian terdahulu fokus pada berbagai aspek seperti kandungan logam, kualitas pembakaran, dan sifat mekanik material alternatif lainnya. Sedangkan penelitian ini memberikan hasil pengujian yang lebih spesifik pada kualitas paving block yang dihasilkan dari bottom ash, termasuk kekuatan tekan dan tarik belah, serta analisis pengaruh faktor air semen (FAS) terhadap kualitas paving block. Keempat, tujuan dan manfaat dari penelitian ini juga berbeda. Penelitian terdahulu sering kali lebih berfokus pada evaluasi dan peningkatan proses insinerasi serta pemanfaatan abu untuk berbagai aplikasi. Sebaliknya, penelitian ini lebih terfokus pada memberikan solusi pengelolaan limbah medis yang lebih berkelanjutan dan ekonomis melalui pemanfaatan residu abu sebagai bahan pembuatan paving block. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi volume limbah tetapi juga memberikan alternatif material yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.